

## Nd<sup>3+</sup>:KG(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ЛАЗЕР С ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ В РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ

Демеш М.П., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С.,  
Гусакова Н.В., Ивашко А.М.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В лазерной физике для применений в лазерной дальнометрии актуальной задачей является создание надежного лазера, излучающего в условно безопасной для глаз спектральной области 1,5-1,6 мкм. Одним из путей решения данной задачи является создание излучателя, работающего на явлении вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) [1,2]. В данной работе представлен твердотельный лазер, работающий в режиме пассивной модуляции добротности с ВКР преобразованием. Преимуществом лазера с пассивной модуляцией добротности являются простота конструкции и отсутствие дополнительных элементов управления. В эксперименте использовались кристаллы Nd:KGW, матрица которых имеет рамановски активную колебательную моду с частотой 901 см<sup>-1</sup>. Это позволяет преобразовывать фундаментальное излучение иона неодима на длине волны  $\lambda=1351$  нм ( $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ ) в первую стоксову компоненту  $\lambda=1538$  нм.

Для анализа работы лазера с ВКР преобразованием было проведено его математическое моделирование на основе системы балансных уравнений [3]. Были получены зависимости энергии и длительности рамановского импульса от параметров резонатора. Так, на рис. 1 представлены зависимости энергии импульса ( $E_{out Raman}$ ) от пропусканий выходного зеркала для фундаментального ( $TI_{out}$ ) и рамановского ( $TR_{out}$ ) излучений при различных значениях начального пропускания ( $To$ ) пассивного затвора

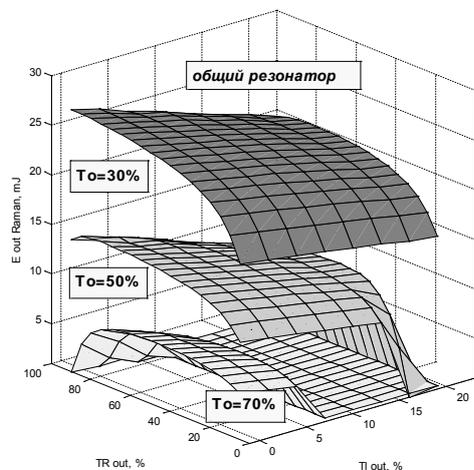


Рисунок 1 – Зависимость энергии рамановского импульса  $E_{out Raman}$  от  $TI_{out}$  и  $TR_{out}$  при различных значениях  $To$

На основе результатов, полученных при моделировании, были выбраны параметры лазера для экспериментального изучения. Отметим, что экспериментальные результаты находятся в хорошем количественном согласии с расчетными данными.

Схема лазера показана на рис. 2. Здесь используется общий резонатор для излучения основной и стоксовой длин волн. База резонатора равнялась 100 мм. В работе исследовались генерационные характеристики двух цилиндрических активных элементов 1 (рис. 2) размером  $\varnothing 3 \times 50$  мм и  $\varnothing 3,5 \times 50$  мм. Кристаллы вырезаны вдоль кристаллографической оси [010]. Излучение лазера поляризовано в плоскости, параллельной оптической оси  $N_m$ , в которой сечение стимулированного излучения имеет максимальное значение [4]. Накачка осуществлялась импульсной ксеноновой лампой. Лампа и активный элемент были помещены в цилиндрический отражатель (лампа и отражатель на рис. не показаны).

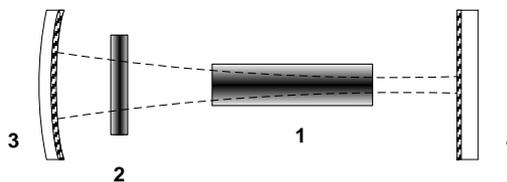


Рисунок 2 – Экспериментальная схема лазера

Для обеспечения режима пассивной модуляции добротности использовался кристалл 2 V<sup>3+</sup>:YAG. Начальное пропускание затвора на длине волны 1351 нм составило 55%. Стоит обратить внимание на сильное влияние ориентации затвора на выходную энергию импульса излучения. Это обстоятельство требует точной взаимной ориентации пассивного затвора и активного элемента.

Ряд значений радиусов кривизны глухого зеркала 3 варьировался от 200 мм до плоского. Выходное зеркало 4 было плоским, причем значение пропускания на длине волны  $\lambda=1538$  нм имело два значения: 80 и 90%. Для обеспечения эффективного ВКР преобразования необходимо чтобы коэффициенты отражения зеркал 3 и 4 на длине волны  $\lambda=1351$  нм имели максимальное значение, а для длины волны  $\lambda=1067$  нм - минимальное.

Для активного элемента размером  $\varnothing 3 \times 50$  мм пороговая энергия накачки равнялась 5,95 Дж, генерация второго импульса наблюдалась при энергии 9,6 Дж. Временное расстояние между импульсами было порядка 30 мкс. Выходная энергия импульса составляла 10-11 мДж (при электрической энергии накачки  $\sim 7$  Дж). Длительность импульса варьировалась в пределах 12...18 нс (рис. 3). При математическом моделировании импульс рамановского излучения имел беспичковую форму, однако, из рисунка видно, что импульс имеет структуру, состоящую из нескольких пичков. Такая форма импульса может быть связана с различием во времени генерации поперечных мод основной и высших порядков.

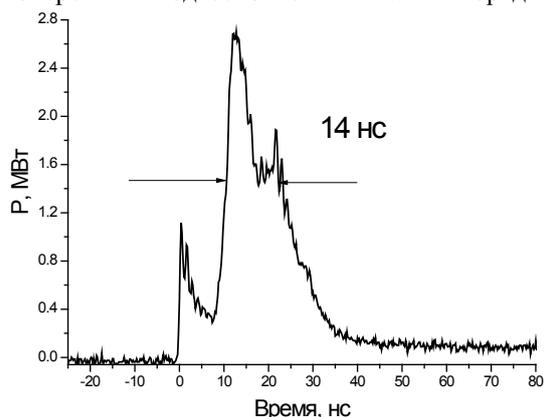


Рисунок 3 – Осциллограмма импульса генерации на длине волны 1538 нм

Пространственное распределение энергии в пятне излучения указывает на многомодовый характер генерации (рис. 4).

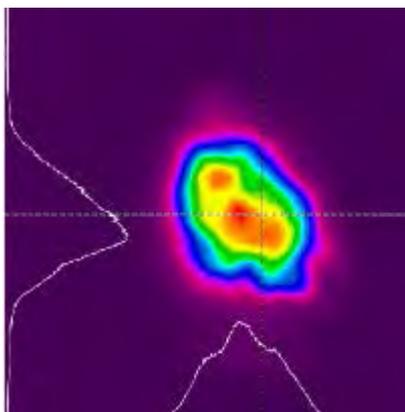


Рисунок 4 – Пространственный профиль излучения на длине волны 1538 нм

Расходимость излучения измерялась по уровню 0,5 с помощью анализатора профиля пучка. Измерялись диаметры лазерного пятна  $D_1$  и  $D_2$  на соответствующих расстояниях от выходного зеркала  $L_1$  и  $L_2$ . Измерения проводились в двух плоскостях: горизонтальной X и вертикальной Y. Расходимость излучения определялась по формуле:

$$2\theta_{0,5} = (D_2 - D_1)/(L_2 - L_1)$$

Уменьшение радиуса кривизны глухого зеркала от бесконечности до 200 мм приводило к увеличению расходимости от 2,5 до 8 мрад соответственно и небольшому затягиванию импульса (до 20 нс). Следует отметить, что наилучшими выходными характеристиками (расходимость и временной профиль излучения) обладает лазер с плоскопараллельным резонатором, однако в таком исполнении он сильно чувствителен к разъюстировкам.

Было установлено, что уменьшение пропускания выходного зеркала на стоксовой длине волны с 90% до 80 % привело к более стабильным временным и пространственным характеристикам выходного излучения. При этом значение выходной энергии импульсов не изменялось.

Использование активного элемента размером  $\varnothing 3,5 \times 50$  мм приводило к росту энергии импульсов до 15-18 мДж и одновременному удлинению временного профиля импульса до 20-25 нс. Также увеличились первый и второй пороги генерации до 8,6 Дж и 15 Дж электрической энергии соответственно. Изменение расходимости составило от 3,2 до 8,3 мрад при уменьшении радиуса глухого зеркала от бесконечности до 200 мм.

При прочих равных условиях оптимальными параметрами обладает лазер с использованием 3-мм активного элемента и глухого зеркала с радиусом 1000 мм. Таким образом, был создан Nd:KGW лазер с ламповой накачкой в режиме пассивной модуляции добротности с внутрирезонаторным ВКР преобразованием в область 1,538 мкм, обладающего следующими выходными характеристиками: энергия импульса 8-15 мДж, длительность до 15 нс, расходимость излучения по уровню 50 % до 2,5 мрад.

1. Ustimenko, N.S., A small Raman laser based on a  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2:\text{Nd}^{3+}$  crystal ( $\lambda=1538$  nm) with passive resonator Q-switching / N.S. Ustimenko, E.M. Zabotin // Instruments and Experimental Techniques, 48 (2), 2005, 239-240.
2. Dashkevich, V.I. et.al. Dynamics of generation of a pulsed  $\text{Nd}^{3+}:\text{KGd}(\text{WO}_4)_2/\text{V}^{3+}:\text{YAG}$  laser emitting in the self-frequency Raman conversation mode at  $\lambda = 1538$  nm / V.I. Dashkevich et.al.// J. of App. Spectroscopy, 77 (3), 2010, 349-356.
3. Chen, W., "Diode-pumped, self-stimulated Q-switched  $\text{Nd}^{3+}:\text{PbWO}_4$  Raman laser", / / W. Chen, Y. Inagawa, T. Omatsu et al / Optics Communications, 194 (2001), p. 401-407.
4. Chen Y., Lin Y., et.al. Polarized spectroscopic properties of  $\text{Nd}^{3+}$ -doped  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  single crystal // J of luminescence, 126, 2007, 653-660.